

(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

(12) **Patentschrift**  
(10) DE 44 09 226 C 2

(51) Int. Cl. 6:  
**G 03 F 3/08**  
H 04 N 1/56

(21) Aktenzeichen: P 44 09 226.1-51  
(22) Anmelddatum: 18. 3. 94  
(43) Offenlegungstag: 13. 10. 94  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 30. 4. 98

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

(68) Innere Priorität:

P 43 11 707.4 08.04.93

(72) Erfinder:

Siegeritz, Helmut, 35392 Gießen, DE

(73) Patentinhaber:

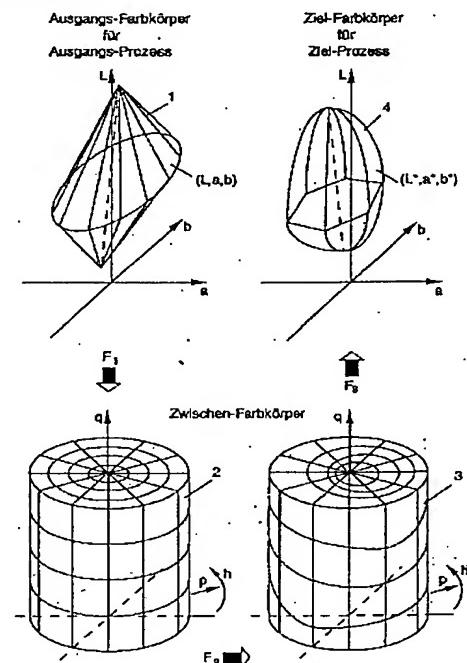
Linotype-Hell AG, 65760 Eschborn, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

US 49 41 039  
US 46 70 780

(54) Verfahren und Einrichtung zur Transformation von Farbkörpern

(57) Verfahren zur Transformation von Farbwerten unterschiedlicher Farbwiedergabeprozesse bei der Reproduktion von Farbbildern, bei dem jeweils alle in einem Farbwiedergabeprozess wiedergebaren Farben einen für den Farbwiedergabeprozess charakteristischen Farbkörper in einem dreidimensionalen Farbkoordinatensystem (Farbraum) bilden, dadurch gekennzeichnet, daß  
– für einen Ausgangs-Farbwiedergabeprozess, mit dem ein Farbbild produziert wurde, ein charakteristischer Ausgangs-Farbkörper (1) in einem empfindungsgemäß gleichabständigen Farbkoordinatensystem gebildet wird, indem ausgewählte Farben des Ausgangs-Farbwiedergabeprozesses, die auf der Oberfläche des Ausgangs-Farbkörpers (1) liegen, erzeugt und die Farbwerte ( $L$ ,  $a$ ,  $b$ ) der erzeugten Farben farbmetrisch ermittelt werden,  
– für einen Ziel-Farbwiedergabeprozess, mit dem das Farbbild reproduziert werden soll, ein Ziel-Farbkörper (4) in dem empfindungsgemäß gleichabständigen Farbkoordinatensystem gebildet wird, indem ausgewählte Farben des Ziel-Farbwiedergabeprozesses, die auf der Oberfläche des Ziel-Farbkörpers (4) liegen, erzeugt und die Farbwerte ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) der erzeugten Farben farbmetrisch ermittelt werden,  
– durch vollständige Abbildung des Ausgangs-Farbkörpers (1) im empfindungsgemäß gleichabständigen Farbkoordinatensystem in einen normierten, von den Farbwiedergabeprozessen unabhängigen zylindrischen Zwischen-Farbkörper (2) in einem zylindrischen Farbkoordinatensystem eine für den Ausgangs-Farbwiedergabeprozess maßgebliche, dreidimensionale erste Transformationsvorschrift [ $h, p, q = F_1(L, a, b)$ ] ermittelt wird,  
– durch vollständige Abbildung des normierten zylindrischen Zwischen-Farbkörpers (2) im zylindrischen Farbkoordinatensystem in den Ziel-Farbkörper (4) im empfindungsgemäß gleichabständigen Farbkoordinatensystem eine für den Ziel-Farbwiedergabeprozess maßgebliche, dreidimensionale zweite Transformationsvorschrift [ $L^*, a^*, b^* = F_3(h, p, q)$ ] ermittelt wird und  
– die Farbwerte ( $L, a, b$ ) des mit dem Ausgangs-Farbwiedergabeprozess produzierten Farbbildes nach der ersten und zweiten Transformationsvorschrift in die für die Reproduktion des Farbbildes in dem Ziel-Farbwiedergabeprozess benötigten Farbwerte umgesetzt werden.



DE 44 09 226 C 2

Best Available Copy

DE 44 09 226 C 2

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft das Gebiet der elektronischen Farbbildreproduktion und betrifft ein Verfahren zur Transformation von Farbkörpern unterschiedlicher Farbwiedergabe-Prozesse, bei dem jeweils die räumliche Lage der in einem Farbwiedergabe-Prozeß darstellbaren Farben durch einen für den betreffenden Farbwiedergabe-Prozeß charakteristischen Farbkörper in einem dreidimensionalen Farbkoordinatensystem definiert wird, sowie eine Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Bei der elektronischen Farbbildreproduktion gibt es zahlreiche Farbwiedergabe-Prozesse, in denen Farbbilder wiedergegeben werden können, beispielsweise den Vierfarben-Offsetdruck, den Siebenfarbendruck oder die Wiedergabe auf einem Farbmonitor.

In jedem Farbwiedergabe-Prozeß kann nur eine bestimmte Menge unterschiedlicher Farben dargestellt werden. Die Menge aller Farben eines Farbwiedergabe-Prozesses in einem dreidimensionalen Farbraum wird als Farbkörper bezeichnet. Bei den für die Farbbildreproduktion typischen Farbwiedergabe-Prozessen bildet die Oberfläche eines Farbkörpers eine geschlossene Hüllfläche, die durch eine Funktion oder eine Menge von Farbwerten beschrieben werden kann. Die Oberfläche des Farbkörpers grenzt die innerhalb des Farbkörpers liegenden, reproduzierbaren Farben von den außerhalb der Hüllfläche liegenden, nicht reproduzierbaren Farben ab.

Bei der Farbbildreproduktion soll ein Farbbild häufig in verschiedenen Farbwiedergabe-Prozessen wiedergegeben werden. Dazu ist eine Transformation des Farbkörpers (Ausgangs-Farbkörper) eines ersten Farbwiedergabe-Prozesses (Ausgangs-Prozeß) in den entsprechenden Farbkörper (Ziel-Farbkörper) eines zweiten Farbwiedergabe-Prozesses (Ziel-Prozeß) nach bestimmten Transformationsvorschriften durchzuführen.

Bei einer solchen Transformation von Farbkörpern kann das Problem auftreten, daß Farbbilder, die in in einem bestimmten Farbwiedergabe-Prozeß farbmetrisch exakt reproduzierbar sind, in einem anderen Farbwiedergabe-Prozeß wiedergegeben werden sollen, der innerhalb seines Farbkörpers nicht alle erforderlichen Farben enthält. Dadurch bleiben bestimmte Farben unberücksichtigt, und es ergibt sich ohne weitere Maßnahmen eine verminderte Reproduktionsqualität.

Ein anderes Problem bei der Wiedergabe von Farbbildern kann dann auftreten, wenn bestimmte Farben in einem Farbwiedergabe-Prozeß in der Nähe der Grenzen des betreffenden Farbkörpers liegen, beispielsweise eine relativ große Buntheit haben. Bei einer farbmetrisch exakten Reproduktion derartiger Farben in einem anderen Farbwiedergabe-Prozeß, dessen erreichbare Buntheit in diesem Bereich deutlich größer ist, ist das Reproduktionsergebnis von den Grenzen des Farbkörpers weiter entfernt. Bei Betrachtung des reproduzierten Farbbildes entsteht dadurch oft der subjektive Eindruck, daß eine unzureichende Buntheit erreicht wurde. Eine exakte farbmetrische Reproduktion ist somit bei derartigen Randbedingungen unzweckmäßig, da ein jeweiliger Betrachter die Farbe stets relativ zu anderen ihm bekannten Farben des Farbwiedergabe-Prozesses, beziehungsweise zu den Grenzen des Farbkörpers in Beziehung setzt.

Bei der üblichen Farbreproduktion gibt es zu jedem Farbpunkt des Farbwiedergabe-Prozesses Farbbilder, die diesen Punkt des Farbkörpers und zusätzlich einen dreidimensionalen Bereich in seiner Umgebung enthalten. Wird ein derartiger Bereich beispielsweise durch Abschneiden auf eine zweidimensionale Fläche zusammengestaucht, so verliert er eine Dimension, und es kommt zu Reproduktionsmängeln.

Verfahren zur Umsetzung von Farbkörpern unterschiedlicher Farbwiedergabe-Prozesse sind beispielsweise aus der US-A-5 185 661 und der EP-A-0 488 655 bekannt.

Mit den bekannten Verfahren ist es nur begrenzt möglich, Farben in unterschiedlichen Farbwiedergabe-Prozessen in qualitativ zufriedenstellender Weise zu reproduzieren.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren und eine Einrichtung zur Transformation von Farbkörpern unterschiedlicher Farbwiedergabe-Prozesse bezüglich der Reproduktionsqualität derart bereitzustellen, daß bei der Reproduktion ein Farbeindruck erreicht wird, bei dem die Beziehungen der Farben untereinander und zu den Grenzen des Farbkörpers berücksichtigt werden.

Diese Aufgabe wird bezüglich des Verfahrens durch die Merkmale des Anspruchs 1 und bezüglich der Einrichtung durch die Merkmale der Ansprüche 24 und 25 gelöst.

Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren ist es möglich, nicht eine Orientierung an einzelnen Farbbildern vorzunehmen, sondern alle in einem Farbwiedergabe-Prozeß darstellbaren Farbbilder und somit den gesamten Farbkörper zugleich zu behandeln. Durch diese globale Verfahrensweise ist jedoch auch die Behandlung einzelner Farbbilder möglich. Insbesondere ist es nämlich möglich, zu jedem Farbbild einen Teilprozeß zu definieren, dessen Farbkörper an das jeweilige Farbbild angepaßt ist.

Beim Übergang von einem Ausgangs-Prozeß zu einem Ziel-Prozeß wird der Farbkörper des Ziel-Prozesses in vorteilhafter Weise vollständig ausgenutzt. Dies bedeutet, daß jede Farbe aus dem Ziel-Prozeß Zielpunkt der Abbildung einer Farbe aus dem Ausgangs-Prozeß ist. Die universelle Anwendbarkeit resultiert daraus, daß das erfindungsgemäße Verfahren in der Lage ist, alle Farbwiedergabeprozesse allein aufgrund der Beschreibung der Oberflächen von Ausgangs-Farbkörper und Ziel-Farbkörper im Normfarbwertsystem oder in einem davon abgeleiteten Farbkoordinatensystem, beispielsweise dem Lab-Farbkoordinatensystem, zu behandeln. Es werden grundsätzlich keine prozeßspezifischen Farbkoordinatensysteme und keine Information über die Art der Farbwiedergabe-Prozesse (Farldruck; Farbmonitor) benötigt.

Auch ohne eine Interaktion mit einem jeweiligen Benutzer liefert das erfindungsgemäße Verfahren gute Reproduktionsergebnisse. Dies schließt jedoch zusätzliche Eingriffsmöglichkeiten für den Benutzer nicht aus.

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß komplizierte Verzerrungen in dem erfindungsgemäßen L,a,b-Farbkoordinatensystem durch eine Transformation in das zylindrische h,p,q-Farbkoordinatensystem stark vereinfacht werden können. Beispielsweise kann eine Nachsättigung aller Farben bei Einhaltung der Grenzen der Farbkörper im h,p,q-Farbraum bereits durch sehr einfache Rechnungen gelöst werden, obwohl eine geschlossene Lösbarkeit im L,a,b-Farbraum nicht gegeben ist.

Die Erfindung wird anhand der Fig. 1 bis 10 näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 eine Darstellung zur Erläuterung des Verfahrensprinzips,

Fig. 2 eine Darstellung zur Modifikation eines Ausgangs-Farbkörpers im L,a,b-Farbkoordinatensystem,

Fig. 3 eine weitere Darstellung zur Modifikation eines Ausgangs-Farbkörpers im L,a,b-Farbkoordinatensystem,

Fig. 4 eine andere Darstellung zur Modifikation eines Ausgangs-Farbkörpers im L,a,b-Farbkoordinatensystem,

Fig. 5 einen typischen Verlauf einer Schnittkurve durch einen verzerrten Ausgangs-Farbkörper in einer L,S-Ebene,

Fig. 6 eine durch ein Gitternetz unterteilte Schnittfläche durch einen verzerrten Ausgangs-Farbkörper in einer L,S-Ebene,

Fig. 7 ein eine Umparametrierung beschreibendes, quadratisches, orthogonales Gitternetz in der p,q-Ebene,

Fig. 8 ein prinzipielles Blockschaltbild zur Durchführung des Verfahrens,

Fig. 9 ein weiteres prinzipielles Blockschaltbild zur Durchführung des Verfahrens und

Fig. 10 ein prinzipielles Blockschaltbild für eine Gesamttransformation.

Das Verfahrensprinzip wird anhand der Fig. 1 erläutert. Ein Ausgangs-Farbkörper (1 bzw. 1") der in einem empfindungsgemäßen, kartesischen L,a,b-Farbkoordinatensystem durch die Farbkoordinaten L, a und b definiert ist und einen ersten Farbwiedergabeprozess (Ausgangs-Prozeß) charakterisiert, wird durch eine Hintransformation nach einer für den Ausgangs-Prozeß maßgeblichen, dreidimensionalen ersten Transformationsvorschrift  $F_1$  in einen normierten, zylindrischen ersten Zwischen-Farbkörper (2) in Form eines Einheitszyinders mit der Höhe 1 und dem Radius 1 in einem zylindrischen h,p,q-Farbkoordinatensystem überführt. Dabei werden die Oberfläche des Ausgangs-Farbkörpers (1), mit Ausnahme der Punkte minimaler und maximaler Helligkeit, auf die Mantelfläche des Zwischen-Farbkörpers (2) und das Innere des Ausgangs-Farbkörpers (1) entsprechend auf das Innere des Zwischen-Farbkörpers (2) stetig und umkehrbar abgebildet.

Die erste Transformationsvorschrift  $F_1$  lautet:

$$b,p,q = F_1(L,a,b)$$

Zur Verbesserung der Reproduktionsqualität wird in vor teilhafter Weise ein zweiter Zwischen-Farbkörper (3) im zylindrischen b,p,q-Farbkoordinatensystem durch Abbildung des ersten Zwischen-Farbkörper (2) auf sich selbst nach einer zweiten Transformationsvorschrift  $F_2$  erzeugt. Nebenbedingung für diese Abbildung ist, daß die Mantelfläche, die Deckflächen und das Innere jeweils auf sich selbst abgebildet werden, daß die Abbildung stetig ist und daß die Farbkoordinaten h unverändert bleiben. Die zweite Transformationsvorschrift  $F_2$  lautet:

$$p',q' = F_2(p,q) \text{ mit } h' = h$$

Der zweite Zwischen-Farbkörper (3) mit den Farbkoordinaten h', p' und q' wird dann durch eine Rücktransformation nach einer für den Ziel-Prozeß maßgeblichen, dreidimensionalen dritten Transformationsvorschrift  $F_3$  in einen für den Ziel-Prozeß charakteristischen Ziel-Farbkörper (4), der in dem empfindungsgemäßen, kartesischen L,a,b-Farbkoordinatensystem durch die Farbkoordinaten L\*, a\* und b\* definiert ist, rückgewandelt. Die dritte Transformationsvorschrift  $F_3$  lautet:

$$L^*, a^*, b^* = F_3(b',p',q')$$

Die Transformationen erfolgen durch Abbildung der Farbkörper, d. h. durch Abbildung der Oberflächen bzw. Hüllflächen, wobei das Innere des Farbkörpers entsprechend mitabgebildet wird.

Die zusammengefaßte Abbildung des Ausgangs-Farbkörpers (1) auf den Ziel-Farbkörper (4) erfolgt über ein dreidimensionales Vektorfeld im L,a,b-Farbkoordinatensystem, dessen Definitionsbereich der Ausgangs-Farbkörper (1) und dessen Wertebereich der Ziel-Farbkörper (4) ist. Dabei werden die Punkte minimaler und maximaler Helligkeit  $L_{\min}$  und  $L_{\max}$  des Ausgangs-Farbkörpers (1) und des Ziel-Farb-

körpers (4) einander zugeordnet, um einen maximalen Helligkeitumfang zu gewährleisten.

Die Transformationsvorschriften sind dreidimensionale Tabellen, nach denen die Transformationen bzw. die Abbildungen der Farbkörper vorgenommen werden.

Die Verfahrensschritte werden nachfolgend im einzelnen erläutert.

In einem ersten Verfahrensschritt [A] wird der für den ersten Farbwiedergabeprozess (Ausgangs-Prozeß) charakteristische Ausgangs-Farbkörper (1) und der für den zweiten Farbwiedergabeprozess (Ziel-Prozeß) charakteristische Ziel-Farbkörper (4) in dem empfindungsgemäß, kartesischen L,a,b-Farbkoordinatensystem ermittelt.

Bei den für die Farbbildreproduktion typischen Farbwiedergabe-Prozessen bildet die Oberfläche eines Farbkörpers eine geschlossene Hüllfläche, die durch eine Menge von Farbwerten beschrieben wird. Die Oberfläche des Farbkörpers grenzt die innerhalb des Farbkörpers liegenden, reproduzierbaren Farben von den außerhalb der Hüllfläche liegenden, nicht reproduzierbaren Farben ab. Die Beschreibung der Oberfläche eines Farbkörpers durch Farbwerte erhält man beispielsweise dadurch, daß man eine große Anzahl von Farben, die auf der Oberfläche eines Farbkörpers liegen, erzeugt und die Farbwerte der erzeugten Farben im Normalfarbwertsystem farbmatisch ausmisst. Die Anzahl und die Auswahl der Farben erfolgt dabei derart, daß alle Punkte der Oberfläche des Farbkörpers höchstens einen festgelegten Farbabstand zu einem anderen gemessenen Punkt haben.

Als Ergebnis der Messungen erhält man eine Menge von Farbwerten, die empfindungsgemäß, näherungsweise gleichverteilt auf der Oberfläche des Farbkörpers liegen. Anschließend werden die Farbwerte in ein näherungsweise empfindungsgemäß angepaßtes kartesisches Farbkoordinatensystem, beispielsweise in das L,a,b-Farbkoordinatensystem, transformiert. Ein empfindungsgemäß angepaßtes Farbkoordinatensystem eignet sich besonders gut zur Interpolation zwischen diskreten, abgetasteten Punkten der Oberfläche von Farbkörpern. Die stetigen Oberflächen der Farbkörper (1, 4) können dadurch mit Hilfe einer dreidimensionalen Interpolation zwischen jeweils benachbarten diskreten Punkten näherungsweise rekonstruiert werden. Das empfindungsgemäß angepaßte L,a,b-Farbkoordinatensystem läßt sich nicht nur für Wiedergabeprozesse mit Körperfarben, sondern auch für Wiedergabeprozesse mit Lichtfarben verwenden. Durch die Verwendung des L,a,b-Farbkoordinatensystems können zwei Eigenschaften ausgenutzt werden, die nahezu alle Farbwiedergabeprozesse bei einer Darstellung im L,a,b-Farbkoordinatensystem gemeinsam haben. Eine dieser Eigenschaften besteht darin, daß ein Farbkörper genau einen Punkt minimaler Helligkeit  $L_{\min}$  und einen Punkt maximaler Helligkeit  $L_{\max}$  aufweist. Diese Punkte minimaler und maximaler Helligkeit sind in der Regel an der Gestalt des Farbkörpers als signifikante Punkte zu erkennen, beispielsweise als ausspringende Ecken. Bei der Darstellung entsprechend Fig. 1 sind für den Ausgangs-Farbkörper (1) und den Ziel-Farbkörper (4) stark schematisiert zwei mögliche Gestaltungen angenommen. Grundsätzlich ist jedoch davon auszugehen, daß die Gestalt der Farbkörper (1, 4) im L,a,b-Farbkoordinatensystem sehr unregelmäßig ist und sich nicht durch einfache geometrische Körper beschreiben läßt.

Der beschriebene Verfahrensschritt wird sowohl auf den Ausgangs-Farbkörper (1) als auch auf den Ziel-Farbkörper (4) angewandt, in dem die Farbwerte L, a und b, die jeweils die Oberflächendeckung des Ausgangs-Farbkörpers (1) und des Ziel-Farbkörpers (4) beschreiben, ermittelt und in Speichern zur Weiterverarbeitung abgelegt werden.

Der Ausgangs-Prozeß kann beispielsweise die punkt- und

zeilenweise, optoelektronische Abtastung eines Farbbildes mittels eines Scanners und der Ziel-Prozeß der Vierfarbendruck sein. In diesem Fall werden die durch die Abtastung gewonnenen Farbwerte R, G und B in die Farbwerte L, a und b des Ausgangs-Farbkörpers (1) und die Farbauszugswerte Y, M, C und K in die Farbwerte L, a und b des Ziel-Farbkörpers (4) in dem empfindungsgemäßen, kartesischen L,a,b-Farbkoordinatenystem umgewandelt.

In einem zweiten Verfahrensschritt [B] wird der Ausgangs-Farbkörper (1) durch die Hintransformation nach der für den Ausgangs-Prozeß maßgeblichen, dreidimensionalen ersten Transformationsvorschrift  $h,p,q = F_1(L,a,b)$  in einen Zwischen-Farbkörper (2) in einem zylindrischen h,p,q-Farbkoordinatenystem überführt. Durch diese Transformation werden die Randbedingungen für die Abbildung des Ausgangs-Farbkörpers auf den Ziel-Farbkörper wesentlich vereinfacht.

Der normierte Zwischen-Farbkörper (2) ist ein Einheitszylinder mit dem Radius 1 und der Höhe 1, bei dem die Punkte minimaler und maximaler Helligkeit  $L_{min}$  und  $L_{max}$  aufgrund der Verzerrung des Ausgangs-Farbkörpers (1) zu der oberen bzw. unteren Begrenzungsfäche des Einheitszyllinders ausarten.

Die Ermittlung der ersten Transformationsvorschrift  $h,p,q = F_1(L,a,b)$  für die Abbildung des Ausgangs-Farbkörpers (1) in den Zwischen-Farbkörper (2) erfolgt in vorteilhafter Weise in drei Schritten.

In einem ersten Schritt wird eine erste Teilverordnung  $F_{11}$  für eine Umwandlung des Ausgangs-Farbkörpers (1) in einen verzerrten Ausgangs-Farbkörper (1') im empfindungsgemäßen, kartesischen L,a,b-Farbkoordinatenystem durch Translation, Scherung und Dehnung ermittelt. Die erste Teilverordnung  $F_{11}$  lautet:

$$L',a',b' = F_{11}(L,a,b)$$

Die Umwandlung wird für alle verfügbaren diskreten Punkte der Oberfläche des Ausgangs-Farbkörpers (1) ausgeführt. Die Umwandlungsschritte sind in den Fig. 2 bis 4 dargestellt.

Fig. 2 zeigt zunächst eine vereinfachte Darstellung eines Ausgangs-Farbkörpers (1) im L,a,b-Farbkoordinatenystem. Punkte auf der Oberfläche des Ausgangs-Farbkörpers (1) haben die Farbkoordinaten L, a und b. Der Punkt minimaler Helligkeit ( $L_{min}$ ) weist die Farbkoordinaten  $L_D$ ,  $a_D$  und  $b_D$  und der Punkt maximaler Helligkeit ( $L_{max}$ ) die Farbkoordinaten  $L_W$ ,  $a_W$  und  $b_W$  auf. Zwischen dem Punkt minimaler Helligkeit und dem Punkt maximaler Helligkeit wird eine Graukurve festgelegt, welche den Helligkeitsverlauf zwischen den Extremwerten bestimmt. Im dargestellten Beispiel ist die Graukurve eine Gerade (5).

Der Ausgangs-Farbkörper (1) wird dann im L,a,b-Farbkoordinatenystem unter Beibehaltung der Helligkeitswerte  $L_{min}$  und  $L_{max}$  entlang der a,b-Ebene derart verschoben und gescherzt, daß die Gerade (5) auf der L-Koordinatenachse liegt, wodurch ein verzerrter Ausgangs-Farbkörper (1') entsteht, deren Oberflächenpunkte durch die Farbkoordinaten  $L'$ ,  $a'$  und  $b'$  definiert sind. Der verzerrte Ausgangs-Farbkörper (1') ist in Fig. 3 dargestellt. Translation und Scherung erfolgen nach den Gleichungen:

$$L' = L$$

$$a' = a + (L - L_D)/(L_W - L_D) \cdot (a_W - a_D)$$

$$b' = b + (L - L_D)/(L_W - L_D) \cdot (b_W - b_D)$$

Im Falle eines kurvenförmigen Verlaufs zwischen den

Punkten minimaler und maximaler Helligkeit wird dieser durch einen Polygonzug angenähert. Dazu können neben den Punkten minimaler und maximaler Helligkeit weitere Punkte angegeben werden, die auf der L-Koordinatenachse liegen sollen. In diesem Fall werden alle angegebenen Punkte in Richtung der Farbkoordinate L geordnet und der Farbkörper entsprechend in Intervalle unterteilt. Die oben angegebenen Gleichungen werden dann intervallweise angewendet.

Bei den meisten Farbwiedergabeprozessen liegt die dunkleste Farbe in der Nähe von Schwarz oder Dunkelgrau. Berücksichtigt man den Umstimmungseffekt des menschlichen Auges auf ein farbstichiges Weiß eines Farbwiedergabe-Prozesses, so entspricht die Strecke zwischen den Extrempunkten in erster Näherung der empfindungsgemäßen Grauachse. Die Fehler dieser Näherung können gegebenenfalls durch Verwendung einer modifizierten Kurve verminder werden. Die modifizierte Kurve wird dann bei der ersten Transformation in die q-Koordinatenachse des h,p,q-Farbkoordinatenystems überführt.

Der verzerrte Ausgangs-Farbkörper (1') wird dann durch Translation und Dehnung in Richtung der Farbkoordinate L erneut derart verzerrt, daß der Punkt minimaler Helligkeit den Helligkeitswert  $L'' = 0$  und der Punkt maximaler Helligkeit den Helligkeitswert  $L'' = 100$  erhält. Der Punkt minimaler Helligkeit weist dann die Farbkoordinaten (0,0,0) und der Punkt maximaler Helligkeit die Farbkoordinaten (100,0,0) auf. Durch die Translation und Dehnung entsteht der verzerrte Ausgangs-Farbkörper (1''), dessen Oberflächenpunkte durch Farbkoordinaten  $L'', a''$  und  $b''$  definiert sind. Der verzerrte Ausgangs-Farbkörper (1'') ist in Fig. 4 dargestellt. Translation und Dehnung in Richtung L-Koordinatenachse erfolgen nach den Gleichungen:

$$35 \quad L'' = (L' - L_D) \cdot 100/(L_W - L_D)$$

$$a'' = a'$$

$$b'' = b'$$

In einem zweiten Schritt wird eine zweite Teilverordnung  $F_{12}$  für die Umwandlung der Farbkoordinaten  $L'', a''$  und  $b''$  des empfindungsgemäßen L,a,b-Farbkoordinatenystems in die Farbkoordinaten L, S und h des zylindrischen L,S,h-Farbkoordinatenystems ermittelt, wobei die a,b-Ebene in Polarkoordinaten dargestellt wird und die Farbkoordinate L erhalten bleibt. Die zweite Teilverordnung  $F_{12}$  lautet deshalb:

$$h,S = F_{12}(a'',b'') \text{ mit } L = L''$$

Die Farbkoordinate S ist die Buntheit (Farbsättigung) und die Farbkoordinate h der Buntonwinkel. Der Buntonwinkel h ist zugleich eine Farbkoordinate des h,p,q-Farbkoordinatenystems. Zusätzlich wird festgelegt, daß zu der Farbkoordinate L mit der Buntheit S = 0 der Buntonwinkel h = 0 gehört. Zwischen den Zylinderkoordinaten L, S und h und den Farbkoordinaten  $L'', a''$  und  $b''$  besteht folgender Zusammenhang:

$$60 \quad L = L''$$

$$65 \quad S = \sqrt{a''^2 + b''^2}$$

$$h = \arctan b''/a''$$

Nach dem zweiten Schritt liegen alle diskreten Punkte der Oberfläche des modifizierten Ausgangs-Farbkörpers (1") als Punkte mit den Farbkoordinaten L, S und h zur Weiterverarbeitung vor.

In einem dritten Schritt wird die dritte Teilverordnung F<sub>13</sub> für die Überführung des verzerrten Ausgangs-Farbkörpers (1") in den normierten, zylindrischen ersten Zwischen-Farbkörper (2) in dem zylindrischen h,p,q-Farbkoordinatensystem ermittelt. Die dritte Teilverordnung F<sub>13</sub> lautet:

$$(p,q) = F_{13} (S,L) \text{ mit } h = \text{konstant}$$

Die Ermittlung der dritten Teilverordnung F<sub>13</sub> erfolgt durch Abtastung von diskreten Punkten der Oberfläche des verzerrten Ausgangs-Farbkörpers (1") mittels einer dreidimensionalen Interpolation und durch eine anschließende zweidimensionale Umparametrierung.

Für die Abtastung von diskreten Punkten der Oberfläche des verzerrten Ausgangs-Farbkörpers (1") werden folgende Überlegungen angestellt.

Als Schnittmenge der Oberfläche des verzerrten Ausgangs-Farbkörpers (1") im h,S,L-Farbkoordinatensystem und einer Halbebene mit einem Bunttonwinkel h = konstant entsteht eine Schnittkurve (7) oder Randkurve, deren Endpunkte auf der L-Koordinatenachse die Farbkoordinaten L = 0 (Punkt minimaler Helligkeit) und L = 100 (Punkt maximaler Helligkeit) bei der Buntheit S = 0 aufweisen. Ein Beispiel für eine derartige Schnittkurve (7) des Ausgangs-Farbkörpers (1") ist in Fig. 5 dargestellt.

Die Abtastung der Oberfläche erfolgt derart, daß der gesamte Umfang der Farbkoordinate h = 2π im h,S,L-Farbkoordinatensystems mit einer Anzahl n gleichabständig verteilter diskreter Farbkoordinaten h<sub>i</sub> abgetastet wird, wobei sich die einzelnen Farbkoordinatenwerte h wie folgt ergeben:

$$h_i = i \cdot 2\pi/n \text{ für } i = 0 \text{ bis } n - 1$$

In der Regel erweist sich eine Anzahl n = 256 von Bunttonwinkeln h<sub>i</sub> bei üblichen Farbwiedergabeprozessen als ausreichend. Für einen diskreten Bunttonwinkel b<sub>i</sub> werden nacheinander die entsprechenden Schnittkurven (7) als Folgen von diskreten Punkten mit den Farbkoordinaten S und L bestimmt. Insgesamt wird somit die gesamte Oberfläche des verzerrten Ausgangs-Farbkörpers (1") durch eine neue Menge von geordneten Abtastpunkten beschrieben, die für Interpolationen besonders gut geeignet ist.

Bei nahezu allen wichtigen Farbwiedergabeprozessen gibt es in jeder Schnittkurve (7) genau einen Punkt mit der jeweils maximalen Buntheit S<sub>max</sub>. Dieser ausgezeichnete Punkt, beispielsweise eine vorspringende Ecke, wird gemeinsam mit den entsprechenden Punkten aller anderen Halbebenen mit jeweils konstanten Bunttonwinkeln h einer besonderen Kurve zugeordnet, die um den verzerrten Ausgangs-Farbkörper (1") verläuft.

Die Schnittkurven (7) in den Halbebenen mit konstanten Bunttonwinkeln h werden in zwei Kurvenabschnitte unterteilt. Die Unterteilung erfolgt dabei derart, daß sich ein unterer Kurvenabschnitt vom Punkt minimaler Helligkeit (0,0,0) bis zum Punkt mit maximaler Buntheit S<sub>max</sub> und ein oberer Kurvenabschnitt vom Punkt mit maximaler Buntheit S<sub>max</sub>) bis zum Punkt maximaler Helligkeit (100,0,0) erstreckt.

Jeder Kurvenabschnitt wird durch einen Polygonzug mit gleich langen Teilstücken beschrieben. Fig. 6 zeigt eine durch Polygonzüge angenäherte Schnittkurve (7) durch den Ausgangs-Farbkörper (1"). Zur Vereinfachung sind jeweils nur vier Teilstrecken für den oberen und den unteren Kur-

venabschnitt der Schnittkurve (7) dargestellt.

Für jeden Kurvenabschnitt wird dann eine Menge von Punkten mit den Farbkoordinaten S und L interpoliert, deren Abstände gleich sind.

- 5 Diese Vorgehensweise kann als eine Umparametrierung der Kurvenabschnitte entsprechend ihrer Kurvenlänge angesehen werden. Die Anzahl der Einzelstrecken ist dabei festgelegt. Bei üblichen Transformationsabläufen erweisen sich 128 Einzelstrecken als ausreichend. Insgesamt ergibt sich
- 10 hieraus, daß die vollständige neu beschriebene Schnittkurve (7) beispielsweise aus 256 Einzelstrecken zwischen 257 diskreten Punkten besteht.

Bei der Erzeugung der Polygonzüge muß eine zusätzliche Einschränkung berücksichtigt werden. Diese Einschränkung besteht darin, daß jeder Kurvenabschnitt eindeutig bezüglich der Farbkoordinaten S sein soll. Dies bedeutet, daß für einen Wert S nur ein zugehöriger Wert L existiert. Dies ist bei den meisten Farbwiedergabeprozessen gewährleistet. Wird bei speziellen Wiedergabeprozessen jedoch diese Bedingung verletzt, so muß eine entsprechende Variation des Polygonzuges vorgenommen werden, um die erforderliche Eindeutigkeit zu gewährleisten.

Aufgrund der wiederholten Abtastung und der numerischen Bearbeitung der Oberfläche des Ausgangs-Farbkörpers (1") können im Vergleich zu einer idealen stetigen Oberfläche Abweichungen auftreten. Es kann beispielsweise vorkommen, daß ein Punkt des L,a,b-Farbraumes, der bezüglich der ersten Darstellung gerade noch innerhalb des Ausgangs-Farbkörpers liegt, nach der Durchführung der beschriebenen Abläufe geringfügig außerhalb der Oberfläche des modifizierten Ausgangs-Farbkörpers liegt. In derartigen Fällen kann der betreffende Punkt mit geringem Fehler durch eine Verminderung der Buntheit S auf die Oberfläche des resultierenden Ausgangs-Farbkörpers gelegt werden.

- 35 Durch Interpolation zwischen den diskreten Punkten lassen sich beliebig viele Abtastpunkte der verzerrten Oberfläche näherungsweise erzeugen.

Nach der Abtastung durch Interpolation werden die ermittelten Schnittkurven (7) oder Randkurven für die diskreten Farbkoordinatenwerte von h<sub>i</sub> zur Weiterverarbeitung gespeichert.

Nach der Abtastung der Oberfläche des Ausgangs-Farbkörpers (1") erfolgt anschließend eine zweidimensionale Umparametrierung zur Erzeugung einer Anzahl von zweidimensionalen Tabellen. Für die zweidimensionale Umparametrierung werden neben Punkten auf der Oberfläche auch Punkte im Innern des Ausgangs-Farbkörpers (1") als Stützpunkte herangezogen.

Die zweidimensionale Umparametrierung wird anhand der Fig. 6 und 7 erläutert.

Wie in Fig. 6 dargestellt, bildet eine Halbebene mit der Farbkoordinate h = konstant eine Schnittfläche (9) durch den verzerrten Ausgangs-Farbkörper (1") im L,S,h-Farbkoordinatensystem. Die Schnittfläche (9) wird durch die Schnittkurve (7) bzw. durch die entsprechenden Polygonzüge sowie durch die L-Koordinatenachse zwischen den Punkten minimaler und maximaler Helligkeit mit der Farbkoordinaten S = 0 und L = 0 sowie S = 0 und L = 100 begrenzt.

60 Zur Ermittlung eines Stützgerüstes für eine dreidimensionale Interpolationsrechnung wird durch die Schnittfläche (9) ein Gitternetz (10) gelegt. Die Schnittpunkte der Netzecken haben die Farbkoordinaten (L,S). Der Wertebereich für die Farbkoordinate L ist von 0 bis 100 und für die Farbkoordinate S von 0 bis S<sub>max</sub>.

Fig. 7 zeigt eine entsprechende Schnittfläche (11) (p,q-Ebene) durch den normierten Zwischen-Farbkörper (2) im h,p,q-Farbkoordinatensystem. Durch die Schnittfläche (11)

ist ein quadratisches, orthogonales Gitternetz (12) gelegt. Die Schnittpunkte der Netzlinien haben die Farbkoordinaten p und q.

Zur Ermittlung der dritten Teilvorschrift  $(b,p,q) = F_{13}(b,S,L)$  mit  $b = \text{konstant}$  wird durch die zweidimensionale Umparametrierung von den Farbkoordinaten L und S nach den Farbkoordinaten p und q zunächst jedem Punkt p und q der p,q-Ebene des h,p,q-Farbkoordinatensystems ein Farbkoordinatenpaar L und S im L,S,h-Farbkoordinatensystem gemäß der Beziehung  $h,S,L = F'_{13}(h,p,q)$  zugeordnet, die zunächst als Zwischenergebnis gespeichert wird.

Die zweidimensionale Umparametrierung läuft im einzelnen wie folgt ab.

Die Schnittfläche (9) wird, wie in Fig. 5 dargestellt, durch eine Trennungskurve (13), die vom Punkt  $S = 0, L = 50$  zu dem Punkt mit maximaler Buntheit  $S_{\max}$  verläuft, in eine obere und eine untere Teilstäche zerlegt. Die Trennungskurve (13) wird ebenfalls durch einen Polygonzug realisiert, der genauso viele Teilstrecken aufweist, wie die gesamte äußere Schnittkurve (7). Entsprechend dem oben gewählten Beispiel sind somit 256 Teilstrecken vorhanden.

Zur Konstruktion der Trennungskurve (13) werden zunächst die Teilstrecken des oberen und des unteren Teiles der Schnittkurven (7) jeweils in beiden Richtungen der Farbkoordinate S geordnet. Es wird dabei von dem Punkt mit der maximalen Buntheit ausgegangen. Jeder Teilstrecke wird derjenige spitze Winkel zugeordnet, den sie mit der negativen S-Koordinatenachse einschließt. Hieraus resultieren zwei Folgen von Winkeln. Eine neue Folge von Winkeln wird als arithmetisches Mittel der ersten beiden Folgen gebildet. Die neue Folge besteht beispielsweise aus 128 Elementen. Ausgehend vom Punkt mit der maximalen Buntheit wird dann ein Polygonzug mit einer gleichgroßen Anzahl von Strecken konstruiert. Die Strecken haben jeweils konstante Länge und werden unter den Winkeln der neuen Winkel folge jeweils aneinandergesetzt. Die konstante Länge wird dabei so gewählt, daß der letzte Punkt auf der L-Koordinatenachse liegt. Der derart entstandene Polygonzug wird anschließend in positiver Richtung der Farbkoordinate S als eine Folge von Punkten S und L betrachtet. Der erste Punkt liegt dabei auf der L-Koordinatenachse und der letzte Punkt entspricht dem Wert mit der maximalen Buntheit. Der erste Punkt des neuen Polygonzuges hat in der Farbkoordinate L nicht den Wert  $L = 50$ , sondern einen anderen Wert  $L_a$ . Es wird deshalb mit einer Kompensationsfunktion  $L_K(S)$  eine Korrektur in Richtung der Farbkoordinate L vorgenommen, indem zu dem Wert L jedes Punktes einen Korrekturwert  $L_K$  addiert wird, der sich aus der Farbkoordinate S wie folgt ergibt:

$$L_K = (50 - L_a) \cdot (1 - S/S_{\max})$$

Nach Durchführung dieser Korrektur wird der geänderte Polygonzug neu abgetastet. Dies erfolgt derart, daß er nach der Abtastung aus der erforderlichen Anzahl von gleich langen Strecken besteht. Im erörterten Beispiel somit wieder aus einer Anzahl von 256 Strecken. Entsprechend dem Beispiel in Fig. 6 ist hier eine Trennungslinie (13) mit diskreten Stützpunkten für einen Polygonzug angegeben, der aus acht Segmenten besteht.

Bei der Parametrierung der Schnittfläche (9) werden der untere und der obere Teil getrennt behandelt. Die Behandlung erfolgt jeweils nach derselben Methode. Nachfolgend wird die Parametrierung der unteren Hälfte genauer beschrieben. Die erläuterten Schritte sind für die obere Hälfte spiegelbildlich anzuwenden.

Für die untere Hälfte wird zunächst der untere Teil der äußeren Schnittkurve (7) bzw. Randkurve vom Punkte mit den

Farbkoordinaten  $S = 0$  und  $L = 0$  aus als Folge von aneinandergefügten, gleich langen gerichteten Strecken aufgefaßt. Jeder Strecke wird der Winkel zugeordnet, um den sie gegen den Uhrzeigersinn gedreht werden muß, damit sie parallel

s 5 und richtungsgleich zur L-Koordinatenachse liegt. Die Winkel bilden eine Folge  $W(n)$  von Winkelwerten, wobei n beispielsweise zwischen 1 und 128 liegt. Durch die Multiplikation der einzelnen Werte der Folge  $W(n)$  von Winkeln mit einem konstanten Faktor k entsteht eine Schar von Folgen 10  $W_k(n)$  der Form:

$$W_k(n) = k \cdot W(n)$$

Dieser Schar von Folgen  $W_k(n)$  entspricht eine Schar von

15 neuen Polygonzügen, die im Punkt mit den Farbkoordinaten  $S = 0$  und  $L = 0$  beginnen. Der Endpunkt der Polygonzüge wandert mit veränderlichem Faktor k durch die S,L-Ebene. Jeder dieser Endpunkte kann durch eine Gerade mit dem Punkt  $(0,0)$  verbunden werden. Zu jedem Wert des Faktors k gehört ein Winkel u, um den die Gerade gegenüber der L-Koordinatenachse gedreht ist. Die konstante Länge der Teilstrecken des Polygonzuges kann geändert werden, ohne daß der Winkel u sich ändert.

Jeder diskrete Punkt der Trennungskurve (13) zwischen

25 den beiden Teilen der Schnittfläche (9) kann entsprechend dieser Vorgehensweise durch eine Gerade mit dem Punkt  $(0,0)$  verbunden werden. Zu jeder dieser Verbindungen gehört entsprechend ein Winkel v. Der Wert des Faktors k einer Winkelfolge wird so bestimmt, daß  $v = u$  ist. Anschließend kann die Streckenlänge so bestimmt werden, daß der Endpunkt des Polygonzuges mit dem diskreten Punkt der Trennungskurve (13) zusammenfällt.

Diese Verfahrensweise wird für jeden Stützpunkt der Trennungskurve (13) ausgeführt. Die Ausführung erfolgt je-

35 weils im oberen und im unteren Teil der Schnittfläche (9) für den jeweiligen Teil der Schnittkurve (7). Dabei entsteht durch die Stützpunkte aller Polygonzüge das geordnete Gitternetz (10), das in Fig. 6 dargestellt ist. Jeder Stützpunkt der Trennungskurve (13) ist ein Endpunkt von zwei Polygonzügen. Der eine der Polygonzüge stammt aus dem unteren und der andere aus dem oberen Teil der Schnittfläche (9). Die beiden Polygonzüge werden dann jeweils zu einem einzigen Polygonzug zusammengefaßt, der im Punkt  $(0,0)$  beginnt und im Punkt  $(0,100)$  endet. Dieser Polygonzug 40 wird in der p,q-Ebene des h,p,q-Farbkoordinatensystems einer Strecke mit konstantem Wert p stetig zugeordnet. Der Anfangspunkt liegt dabei bei  $q = 0$  und der Endpunkt bei  $q = 1$ . Die bei dem gewählten Beispiel insgesamt 256 Strecken des Polygons entsprechen 256 gleichbreiten Intervallen in 45 Richtung von q. Mit derselben Verfahrensweise werden die 256 Strecken der Trennungslinie (13) der Strecke zwischen  $p = 0$  und  $p = 1$  bei  $q = 0,5$  zugeordnet. Insgesamt entsteht in 50 der p,q-Ebene das quadratische, orthogonale Gitternetz (12), das in Fig. 7 dargestellt ist. Die Punkte mit den Farbkoordinaten  $S = 0$  und  $L = 0$  und Farbkoordinaten  $S = 0$  und  $L = 100$  werden dabei in Streckenzüge transformiert. Mit der beschriebenen Umparametrierung werden in der bereits erläuterten Weise für jeden Wert  $b$   $256 \times 256$  finite Elemente in der p,q-Ebene bestimmt. Dies entspricht  $257 \times 257$  Stützpunkten.

55 Nach der Bestimmung dieser finiten Elemente erfolgt die Abspeicherung der Tabelle  $h,S,L = F'_{13}(h,p,q)$  als Zwischenergebnis.

Nach der Umparametrierung kann dann beispielsweise die dritte Teilvorschrift  $(h,p,q) = F_{13}(b,S,L)$  aus dem gespeicherten Zwischenergebnis  $h,S,L = F'_{13}(h,p,q)$  iterativ 60 mit einem Suchalgorithmus ermittelt und durch Zusammenfassen aller drei Teilvorschriften die dreidimensionale erste Transformationsvorschrift  $h,p,q = F_1(L,a,b)$  für die Hin-

transformation gewonnen werden.

In bevorzugter Weise wird die erste Transformationsvorschift  $h,p,q = F_1(L,a,b)$  aus dem abgespeicherten Zwischenergebnis gemäß der Transformationsvorschift  $h,S,L = F'_{13}(h,p,q)$  wie folgt ermittelt.

Zunächst werden aus dem Zwischenergebnis die Farbkoordinaten S und b des zylindrischen  $h,S,L$ -Farbkoordinatensystems unter Beibehaltung der Farbkoordinaten L in die Farbkoordinaten L", a" und b" des kartesischen  $L,a,b$ -Farbkoordinatensystems gemäß der Transformationsvorschift:

$$a'', b'' = F_{12}(h,S) \text{ mit } L'' = L$$

umgewandelt und dann aus den umgewandelten Farbkoordinaten L", a" und b" nach einer weiteren Transformationsvorschift  $F'_{11}$  durch eine inverse Scherung und Streckung gemäß den Fig. 2 bis 4 die Farbkoordinaten L, a und b gewonnen. Die Transformationsvorschift  $F'_{11}$  lautet:

$$L,a,b = F'_{11}(L'',a'',b'')$$

Durch Zusammenfassen der drei Transformationsvorschriften  $F'_{11}$ ,  $F'_{12}$  und  $F'_{13}$  ergibt sich dann die inverse erste Transformationsvorschift  $F_1$  zu:

$$L,a,b = F_1(h,p,q)$$

Die erste Transformation des Ausgangs-Farbkörpers (1) in den ersten Zwischen-Farbkörper (2) nach der ersten Transformationsvorschift  $F_1$  erfolgt dann anhand der inversen Transformationsvorschift  $F'_1$  iterativ mit einem Suchalgorithmus, der ein Wertetripel  $(L,a,b)$  so bestimmt, daß ein gefordertes Wertetripel  $(h,p,q)$  diesem zugeordnet werden kann, wozu ebenfalls eine dreidimensionale Interpolation benutzt wird.

In einem dritten Verfahrensschritt [C] wird im zylindrischen  $h,p,q$ -Farbkoordinatensystem der zweite Zwischen-Farbkörper (3) mit den Farbkoordinaten h', p' und q' durch eine Standardabbildung (Verzerrung) des ersten Zwischen-Farbkörper (2) mit den Farbkoordinaten h, p und q auf sich selbst nach der zweiten Transformationsvorschift  $F_2$  erzeugt, die lautet:

$$p',q' = F_2(p,q) \text{ mit } h' = h$$

Die Standardabbildung erfolgt unter Beibehaltung der Farbkoordinate h. Die Konstanz der Farbkoordinate h im  $h,p,q$ -Farbkoordinatensystem bedeutet  $h' = h$  und  $(p',q') = f(h,p,q)$ , wobei  $(h,p,q)$  das Urbild und  $(h',p',q')$  das Bild eines Punktes ist.

Deshalb kann die Abbildung als eine Menge von zweidimensionalen Abbildungen in den Farbkoordinaten p und q aufgefaßt werden, von denen jedefür einen Wert h gilt.

Die gesamte Standardabbildung ist im zu berücksichtigenden Bereich stetig. Für alle diskreten Werte von h wird dazu eine Funktion ermittelt, die in der p,q-Ebene das Quadrat im Intervall zwischen  $0 <= p <= 1$  und  $0 <= q <= 1$  jeweils auf sich selbst abbildet. Zwischen den diskreten Werten von h kann eine Interpolation der Abbildung erfolgen.

Die Standardabbildung erfolgt unter Berücksichtigung der geometrischen Eigenschaften von Ausgangs-Farbkörper und Ziel-Farbkörper. Die Eigenschaften der zweidimensional verzerrenden Funktionen werden daher aus den Transformationsvorschriften bzw. den gespeicherten Tabellen für die Hin- und Rücktransformation bestimmt. Dazu wird für jeden Farbkörper im  $L,a,b$ -Farbkoordinatensystem eine Anzahl von Kenngrößen ermittelt, die in das  $h,p,q$ -Farbkoordinatensystem transformiert werden und dort die zweidimen-

sionale Verzerrungs-Funktion bestimmen.

Die Standardabbildung, die immer dann verwendet wird, wenn keine speziellen Algorithmen des Benutzers zur Verwendung kommen, führt zu einer Verzerrung im  $p,q$ -Einhheitsquadrat, die lediglich eindimensional ist. Dies bedeutet, daß die jeweilige Farbkoordinate q gleich bleibt und lediglich eine Variation der Farbkoordinate p stattfindet ( $p' = F_2(p)$  und  $q' = q$ ).

Die Verzerrungs-Funktion  $F_2(p)$  für die Farbkoordinate p ist dabei eine Hyperbel, deren Parameter für jeden Wert von h aus einem Vergleich von zwei speziellen Punkten errechnet werden. Für den jeweiligen Wert von h wird hierzu der Quotient aus der maximalen Buntheit  $S_{Amax}$  des Ausgangs-Farbkörpers (1) und  $S_{Zmax}$  des Ziel-Farbkörpers (4) wie folgt bestimmt:

$$M = S_{Amax}/S_{Zmax}$$

Die Verzerrungs-Funktion  $F_2(p)$  ergibt sich zu:

$$F_2(p) = w + u/(p + v) \text{ mit } M \neq 1$$

Darin sind u, v und w Konstanten der Form:

$$w = -M/(M - 1)^2,$$

$$v = 1/(M - 1) \text{ und}$$

$$u = M/(M - 1)$$

Für den Fall  $M = 1$  wird  $f(p) = p$  festgelegt. Die Hyperbel bildet das Intervall im Wertebereich von  $0 < p < 1$  stetig und eindeutig auf sich selbst ab. Die Werte  $p = 0$  und  $p = 1$  bleiben dabei gleich. Das Innere des Intervalls wird abhängig von M verschieden stark geändert. Die Hyperbel bewirkt, daß beim Übergang vom verzerrten Ausgangs-Farbkörper des Ausgangs-Prozesses zu dem verzerrten Ziel-Farbkörper des Ziel-Prozesses die Buntheit in der Nähe der L-Koordinatenachse nur wenig, bei größerer Entfernung von der L-Koordinatenachse jedoch mehr geändert wird.

Grundsätzlich ist es möglich, für einen Anwender des Verfahrens eine Möglichkeit vorzusehen, um über eine Benutzerschnittstelle den Verfahrensablauf abzuwandeln und die Standardabbildung durch andere Abbildungsvorschriften zu ersetzen. Der Anwender kann dabei die Wertigkeit verschiedener empfindungsangepaßt formulierter Kriterien festlegen. Derartige Kriterien sind beispielsweise die Erhaltung der Buntheit im Bereich der Grauachse, die Erhaltung der Unterscheidbarkeit der Farben im ganzen Farbkörper oder die Erhaltung der Originalhelligkeit. Darüber hinaus sind auch eine Vielzahl anderer Kriterien denkbar. Bei einer Realisierung des Verfahrens kann eine Bibliothek von unterschiedlichen Verzerrungs-Funktionen zur Verfügung gestellt werden, deren Auswahl und deren Parameter entsprechend den Vorgaben des Benutzers festgelegt werden. Der Benutzer kann darüber hinaus eigene Kriterien oder Verzerrungsfunktionen hinzufügen. Bei einer Generierung eigener Verzerrungsfunktionen muß der Benutzer die entsprechenden Algorithmen zur Bestimmung der Funktionsparameter zusätzlich definieren. Als Grundlage für derartige zusätzliche Algorithmen können immer die für die Ausgangs- und Ziel-Prozesse vorliegenden Tabellen für die Hin- und Rücktransformation verwendet werden.

In einem vierten Verfahrensschritt [D] wird dann der zweite Zwischen-Farbkörper (3) mit den Farbkoordinaten h', p' und q' durch Rücktransformation nach der dreidimensionalen dritten Transformationsvorschift  $L^*,a^*,b^* = F_3(h',p',q')$  in den für den zweiten Farbwiedergabeprozeß

(Ziel-Prozeß) charakteristischen Ziel-Farbkörper (4) in dem empfindungsgemäßen, kartesischen L,a,b-Farbkoordinaten-system rückgewandelt, wobei die dritte Transformationsvorschrift  $F_3$  formal der zuvor ermittelten inversen ersten Transformationsvorschrift  $L,a,b = F'_1(h,p,q)$  entspricht, wobei die Vorgänge mit den entsprechenden Meßwerten des Ziel-Prozesses durchgeführt werden.

Mit Hilfe der ermittelten Transformationsvorschriften wäre es grundsätzlich möglich, bei der Reproduktion eines Farbbildes jeden einzelnen Bildpunkt sowie die zugeordneten Parameter den einzelnen Transformationen zu unterwerfen. Aufgrund der hieraus resultierenden Umwandlungszeit ist es jedoch zweckmäßiger, eine gesamte Transformationsvorschrift  $L^*,a^*,b^* = F(L,a,b)$  in Form einer gespeicherten Umsetzungstabelle zu bestimmen, nach der der Ausgangs-Farbkörper (1) direkt in den Ziel-Farbkörper (4) überführt wird.

Dazu erfolgt eine quantisierte Abtastung des Ausgangs-Farbkörpers (1). Die dabei gewonnenen Farbwerte L, a und b werden dann gemäß den drei Transformationsvorschriften  $F_1$ ,  $F_2$  und  $F_3$  in die Farbwerte  $L^*$ ,  $a^*$  und  $b^*$  transformiert und die transformierten Farbwerte  $L^*$ ,  $a^*$  und  $b^*$  durch die entsprechenden Farbwerte L, a und b adressierbar in einem Tabellen-Speicher abgelegt.

Fig. 8 zeigt ein prinzipielles Blockschaltbild zur Durchführung des Verfahrens. In einem Speicher (14) sind die Farbwerte L, a und b von diskreten Punkten der Oberfläche des Ausgangs-Farbkörpers (1) abgelegt. In einer ersten Rechen-Stufe (15) erfolgt durch Streckung und Scherung gemäß den Fig. 2 bis 4 die Verzerrung des Ausgangs-Farbkörpers (1) in den Farbkörper (1'), in dem die Farbkoordinaten L, a und b nach der Teiltorschrit  $F_{11}$  in die Farbkoordinaten  $L'', a''$  und  $b''$  umgewandelt werden. In der nachfolgenden ersten Transformations-Stufe (16) werden dann die Farbkoordinaten  $L'', a''$  und  $b''$  der verzerrten, Oberfläche des Ausgangs-Farbkörpers (1') im kartesischen L,a,b-Farbkoordinaten-System unter Beibehaltung der Farbwerte L gemäß der Teiltorschrit  $F_{12}$  in die Farbkoordinaten S und b des zylindrischen L,S,h-Farbkoordinaten-Systems transformiert und in einem Koordinaten-Speicher (17) abgelegt. Aus den gespeicherten Farbkoordinaten L, S und b werden dann mit Hilfe einer dreidimensionalen Interpolations-Stufe (18) die Schnittkurven (7) bzw. Randkurven für diskrete Farbkoordinaten h gemäß den Fig. 5 ermittelt und die zugehörigen Farbkoordinaten h, S und L in einem Schnittkurven-Speicher (19) zwischengespeichert. Die gespeicherten Farbkoordinaten S und L werden dann unter Beibehaltung der Farbkoordinaten h durch eine zweidimensionale Umparametrisierung gemäß den Fig. 6 und 7 in einer zweiten Rechenstufe (20) in die Farbkoordinaten p und q überführt. Die dabei erzeugten Farbwerte h, S und L werden durch die zugehörigen Farbwerte h, p und q adressierbar in einem Tabellen-Speicher (21) als Zwischenergebnis  $h,S,L = F'_{13}(h,p,q)$  für die Weiterverarbeitung gespeichert.

Fig. 9 zeigt ein weiteres prinzipielles Blockschaltbild zur Durchführung des Verfahrens, nach dem die in dem Tabellen-Speicher (21) als Zwischenergebnis abgespeicherte Transformationsvorschrift  $h,S,L = F'_{13}(h,p,q)$  weiterverarbeitet wird. Die aus dem Tabellen-Speicher (21) ausgelesenen Farbkoordinaten h, S und L des zylindrischen h,S,L-Farbkoordinaten-Systems werden unter Beibehaltung der Farbkoordinate L in einer zweiten Transformations-Stufe (22) in die Farbkoordinaten  $L', a'$  und  $b'$  des L,a,b-Farbkoordinaten-Systems umgewandelt. Diese Farbkoordinaten  $L', a'$  und  $b'$  werden dann in einer weiteren Rechen-Stufe (23) durch eine Verzerrung, die gegenüber der in den Fig. 2 bis 4 beschriebenen Verzerrung invers ist, in die Farbkoordinaten L, a und b transformiert. Die Beziehung zwischen den Ein-

gangswerten h, p und q und den Ausgangswerten L, a und b der Schaltungsanordnung liefert die inverse erste Transformationsvorschrift  $L,a,b = F'_1(h,p,q)$  für die Abbildung des Ausgangs-Farbkörpers (1) in den ersten Zwischen-Farbkörper (2) (Hintransformation) bzw. die dritte Transformationsvorschrift  $L^*,a^*,b^* = F_3(h',p',q')$  für die Abbildung des zweiten Zwischen-Farbkörpers (3) in den Ziel-Farbkörper (4) (Rücktransformation).

Fig. 10 zeigt ein prinzipielles Blockschaltbild zur Durchführung einer Gesamttransformation zwischen dem Ausgangs-Farbkörper (1) und dem Ziel-Farbkörper (5). In einer ersten Tabellen-Speichereinrichtung (24) ist die erste Transformationsvorschrift  $h,p,q = F_1(L,a,b)$  für den Ausgangs-Prozeß gespeichert, nach der der Ausgangs-Farbkörper (1) in den ersten Zwischen-Farbkörper (2) abgebildet wird. In einer Rechen-Einrichtung (25) werden zur Erzeugung des zweiten Zwischen-Farbkörpers (3) durch Abbildung des ersten Zwischen-Farbkörpers (2) in sich selbst die Farbkoordinaten p und q nach der zweiten Transformationsvorschrift  $p',q' = F_2(p,q)$  mit  $h' = h$  in die Farbkoordinaten p' und q' verzerrt. In einer zweiten Tabellen-Speichereinrichtung (26) ist die dritte Transformationsvorschrift  $L^*,a^*,b^* = F_3(h',p',q')$  für den Ziel-Prozeß durch die Farbkoordinaten h', p' und q' abrufbar gespeichert. In den Einrichtungen (24, 25, 26) werden somit die Farbkoordinaten L, a und b des Ausgangs-Farbkörpers (1) nach der gesamten Transformationsvorschrift  $L^*,a^*,b^* = F(L,a,b)$  in die Farbkoordinaten  $L^*, a^*$  und  $b^*$  des Ziel-Farbkörpers (4) umgesetzt, die dann in einer dritten Tabellen-Speichereinrichtung (27) durch die Farbkoordinaten L, a und b des Ausgangs-Farbkörpers (1) adressierbar gespeichert werden, wobei bei Verwendung eines quaderförmigen Adreßraumes die Tabellenpunkte, die nicht in dem Ausgangs-Farbkörper liegen, mit dem nächstliegenden Punkt der Oberfläche belegt werden. Nach der in der dritten Tabellen-Speichereinrichtung (27) abgelegten Tabelle können dann die Farbwerte des Ausgangs-Prozesses direkt in die entsprechenden Farbwerte des Ziel-Prozesses umgesetzt werden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Transformation von Farbwerten unterschiedlicher Farbwiedergabeprozesse bei der Reproduktion von Farbbildern, bei dem jeweils alle in einem Farbwiedergabeprozeß wiedergebbaren Farben einen für den Farbwiedergabeprozeß charakteristischen Farbkörper in einem dreidimensionalen Farbkoordinaten-System (Farbraum) bilden, dadurch gekennzeichnet, daß

- für einen Ausgangs-Farbwiedergabeprozeß, mit dem ein Farbbild produziert wurde, ein charakteristischer Ausgangs-Farbkörper (1) in einem empfindungsgemäß gleichabständigen Farbkoordinaten-System gebildet wird, indem ausgewählte Farben des Ausgangs-Farbwiedergabeprozesses, die auf der Oberfläche des Ausgangs-Farbkörpers (1) liegen, erzeugt und die Farbwerte (L, a, b) der erzeugten Farben farbmetrisch ermittelt werden,
- für einen Ziel-Farbwiedergabeprozeß, mit dem das Farbbild reproduziert werden soll, ein Ziel-Farbkörper (4) in dem empfindungsgemäß gleichabständigen Farbkoordinaten-System gebildet wird, indem ausgewählte Farben des Ziel-Farbwiedergabeprozesses, die auf der Oberfläche des Ziel-Farbkörpers (4) liegen, erzeugt und die Farbwerte ( $L^*, a^*, b^*$ ) der erzeugten Farben farbmetrisch ermittelt werden,
- durch vollständige Abbildung des Ausgangs-

Farbkörpers (1) im empfindungsgemäß gleichabständigen Farbkoordinatensystem in einen normierten, von den Farbwiedergabeprozessen unabhängigen zylindrischen Zwischen-Farbkörper (2) in einem zylindrischen Farbkoordinatensystem eine für den Ausgangs-Farbwiedergabeprozeß maßgebliche, dreidimensionale erste Transformationsvorschrift  $[h,p,q = F_1(L,a,b)]$  ermittelt wird,

- durch vollständige Abbildung des normierten zylindrischen Zwischen-Farbkörpers (2) im zylindrischen Farbkoordinatensystem in den Ziel-Farbkörper (4) im empfindungsgemäß gleichabständigen Farbkoordinatensystem eine für den Ziel-Farbwiedergabeprozeß maßgebliche, dreidimensionale zweite Transformationsvorschrift  $[L^*,a^*,b^* = F_3(h,p,q)]$  ermittelt wird und
- die Farbwerte  $(L,a,b)$  des mit dem Ausgangs-Farbwiedergabeprozeß produzierten Farbbildes nach der ersten und zweiten Transformationsvorschrift in die für die Reproduktion des Farbbildes in dem Ziel-Farbwiedergabeprozeß benötigten Farbwerte umgesetzt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß

- ein zweiter normierter Zwischen-Farbkörper (3) im zylindrischen Farbkoordinatensystem  $(h,p,q)$  durch Abbildung des ersten Zwischen-Farbkörpers (2) auf sich selbst nach einer weiteren Transformationsvorschrift  $[p',q' = F_2(p,q)]$  für jeden Wert der Farbkoordinaten  $(h)$  erzeugt wird und
- der zweite Zwischen-Farbkörper (3) durch die Rücktransformation nach der dreidimensionalen Transformationsvorschrift  $[L^*,a^*,b^* = F_3(h',p',q')]$  in den Ziel-Farbkörper (4) überführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausgangs-Farbkörper (1) im empfindungsgemäßigen, kartesischen Farbkoordinatensystem  $(L,a,b)$  verzerrt und der verzerrte Ausgangs-Farbkörper (1') in den normierte Zwischen-Farbkörper (2) überführt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermittlung des Ausgangs-Farbkörpers (1) und des Ziel-Farbkörpers (4) eine Anzahl von ausgewählten Farben, die auf den Oberflächen der Farbkörper (1, 4) liegen, erzeugt und die Farbwerte der erzeugten Farben farbmatisch im Normfarbwertsystem ausgemessen werden, wobei die ausgewählten Farben höchstens einen festgelegten Farbabstand voneinander aufweisen.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermittlung der Transformationsvorschrift  $[h,p,q = F_1(L,a,b)]$  für die Hinterntransformation

- die Farbkoordinaten  $(L,a,b)$  der Oberfläche des Ausgangs-Farbkörpers (1) nach einer ersten Teilvervorschrift  $[L^*,a^*,b^* = F_{11}(L,a,b)]$  in die Farbkoordinaten  $(L^*,a^*,b^*)$  der Oberfläche des verzerrten Ausgangs-Farbkörpers (1') transformiert werden,
- die Farbkoordinaten  $(L^*,a^*,b^*)$  der Oberfläche des verzerrten Ausgangs-Farbkörpers (1') nach einer zweiten Teilvervorschrift  $[h,S = F_{12}(a^*,b^*)]$  unter Beibehaltung der Farbkoordinate  $(L)$  in polare Farbkoordinaten  $(h,S)$  eines zylindrischen Farbkoordinatensystems  $(h,S,L)$  überführt werden, dessen  $h,S$ -Ebene der ab-Ebene des empfindungsgemäßigen, kartesischen Farbkoordinatensystems  $(L,a,b)$  entspricht und

- die Farbkoordinaten  $(S,L)$  unter Beibehaltung der Farbkoordinaten  $(h)$  nach einer dritten Teilvervorschrift  $[p,q = F_{13}(S,L)]$  in die Farbkoordinaten  $(p,q)$  des zylindrischen Farbkoordinatensystems  $(h,p,q)$  umgewandelt werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Verzerrung des Ausgangs-Farbkörpers (1) in den Ausgangs-Farbkörper (1") durch Translation, Scherung und Dehnung erfolgt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß

- der Ausgangs-Farbkörper (1) zunächst in einen modifizierten Ausgangs-Farbkörper (1') umgewandelt wird, indem der Ausgangs-Farbkörper (1) in der ab-Ebene des empfindungsgemäßigen kartesischen Farbkoordinatensystems  $(L,a,b)$  derart verschoben und gescherzt wird, daß eine zwischen einem Punkt minimaler Helligkeit  $(L_{min})$  und einem Punkt maximaler Helligkeit  $(L_{max})$  liegende Kurve (5) auf der L-Koordinatenachse des empfindungsgemäßigen Farbkoordinatensystems  $(L,a,b)$  liegt und

- er modifizierte Ausgangs-Farbkörper (1') dann in den verzerrten Ausgangs-Farbkörper (1") umgewandelt wird, indem der modifizierte Ausgangs-Farbkörper (1') derart verschoben und gedehnt wird, daß dem Punkt minimaler Helligkeit  $(L_{min})$  ein erster normierter Helligkeitwert ( $L = 0$ ) und dem Punkt maximaler Helligkeit  $(L_{max})$  ein zweiter normierter Helligkeitwert = 100 zugeordnet ist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die dritte Teilvervorschrift  $[p,q = F_{13}(S,L)]$  zur Umwandlung der Farbkoordinaten  $(S,L)$  des zylindrischen Farbkoordinatensystems  $(h,S,L)$  in die Farbkoordinaten  $(p,q)$  des zylindrischen Farbkoordinatensystems  $(h,p,q)$  für jeden Wert der Farbkoordinate  $(h)$  durch Abtastung von diskreten Punkten auf der Oberfläche des verzerrten Ausgangs-Farbkörpers (1") und durch Umparametrierung von Schnittflächen durch den Ausgangs-Farbkörper (1") für konstante Farbkoordinatenwerte  $(h)$  ermittelt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß

- die Oberfläche des verzerrten Ausgangs-Farbkörpers (1") jeweils für innerhalb des Wertebereiches der Farbkoordinaten  $(h)$  gleichabständig verteilte diskrete Farbkoordinaten  $(h)$  abgetastet wird,

- für jede diskrete Farbkoordinate  $(h)$  die entsprechende Schnittfläche (9) und deren Schnittkurve (7) mit der Oberfläche des verzerrten Ausgangs-Farbkörpers (1") in einer L,S-Ebene des zylindrischen Farbkoordinatensystems  $(h,S,L)$  ermittelt wird,

- auf der Schnittkurve (7) Punkte mit den Farbkoordinaten  $(S,L)$  interpoliert werden,

- für jede diskrete Farbkoordinate  $(h)$  in der Schnittfläche (9) der L,S-Ebene mit Hilfe der interpolierten Punkte auf der Schnittkurve (7) ein Gitternetz (10) erzeugt wird, in dem jeder Punkt durch Farbkoordinaten  $(L,S)$  definiert ist,

- für jede diskrete Farbkoordinate  $(h)$  die entsprechende Schnittfläche (11) in der p,q-Ebene des zylindrischen Farbkoordinatensystems  $(h,p,q)$  als Quadrat festgelegt und die Schnittfläche (11) durch ein orthogonales Gitternetz (12) unterteilt wird, in dem jeder Punkt durch die Farbkoordinaten  $(p,q)$  definiert ist.

- ten ( $p,q$ ) definiert ist,
- für jede diskrete Farbkoordinate ( $b$ ) in den zu gehörigen Gitternetzen (10, 12) eine Unparametrierung der Schnittflächen vorgenommen wird, indem jedem Punkt mit dem Farbkoordinatenpaar ( $p,q$ ) in der  $p,q$ -Ebene ein Koordinatenpaar ( $L,S$ ) in der  $L,S$ -Ebene zugeordnet wird und
  - die für jede diskrete Farbkoordinate ( $b$ ) einander zugeordneten Koordinatenpaare als inverse dritte Teilvorschrift  $[h,S,L = F_{13}(b,p,q)]$  abgelegt werden.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß
- die dritte Teilvorschrift  $[(h,p,q) = F_{13}(h,S,L)]$  iterativ aus der inversen dritten Teilvorschrift  $[h,S,L = F_{13}(b,p,q)]$  ermittelt wird und
  - die erste, zweite und dritte Teilvorschrift zu der Transformationsvorschrift  $[h,p,q = F_1(L,a,b)]$  für die Hintransformation zusammengefaßt werden.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Transformationsvorschrift  $[h,p,q = F_1(L,a,b)]$  für die Hintransformation unter Verwendung der inversen dritten Teilvorschrift  $[h,S,L = F_{13}(b,p,q)]$  ermittelt wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermittlung der Transformationsvorschrift  $[h,p,q = F_1(L,a,b)]$  für die Hintransformation
- die Farbkoordinaten ( $h,S$ ) des zylindrischen Farbkoordinatensystems ( $h,S,L$ ) unter Beibehaltung der Farbkoordinaten ( $L$ ) in die Farbkoordinaten ( $a'',b''$ ) des empfindungsgemäßen, kartesischen Farbkoordinatensystems ( $L,a,b$ ) nach der inversen zweiten Teilvorschrift  $[a'',b' = F'_{12}(h,S)]$  überführt werden,
  - die Farbkoordinaten ( $L'',a'',b''$ ) des empfindungsgemäßen, kartesischen Farbkoordinatensystems ( $L,a,b$ ) durch Scherung und Streckung nach der inversen ersten Teilvorschrift  $[L,a,b = F'_1(L,a'',b'')]$  in die Farbkoordinaten ( $L,a,b$ ) umgewandelt werden,
  - die erste, zweite und dritte inverse Teilvorschift zu der inversen Transformationsvorschrift  $[L,a,b = F'_1(h,p,q)]$  für die Hintransformation zusammengefaßt werden und
  - die Transformationsvorschrift  $[h,p,q = F_1(L,a,b)]$  für die Hintransformation aus der inversen Transformationsvorschrift  $[L,a,b = F'_1(h,p,q)]$  iterativ ermittelt wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermittlung der Transformationsvorschrift  $[L^*,a^*,b^* = F_3(h,p,q)]$  für die Rücktransformation die entsprechenden Schritte in gleicher Weise für den Ziel-Farbkörper (4) mit Ausnahme der inversen Anwendung der Teilvorschriften ausgeführt werden.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Schnittkurve jeder Schnittfläche (9) in zwei Kurvenabschnitte unterteilt wird, wobei sich der eine Kurvenabschnitt von dem Punkt minimaler Helligkeit auf der L-Koordinatenachse bis zum Punkt maximaler Buntheit (S) und der andere Kurvenabschnitt vom Punkt maximaler Helligkeit auf der L-Koordinatenachse bis zum Punkt maximaler Buntheit (S) erstreckt.
15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Kurvenabschnitte einer Schnittfläche (9) jeweils durch einen Polygonzug mit gleichlangen Abschnitten angenähert wird.
- 5
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß
- eine Schnittfläche (10) durch eine von einem Punkt mittlerer Helligkeit auf der L-Koordinatenachse bis zu dem Punkt maximaler Buntheit (S) verlaufende Trennungslinie (13) in zwei Teilstücken unterteilt wird und
  - die Unparametrierung in den Teilstücken getrennt durchgeführt wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Abbildung des ersten Zwischen-Farbkörpers (2) auf den zweiten Zwischen-Farbkörper (3) im zylindrischen Farbkoordinatensystem ( $h,p,q$ ) für jeden Farbkoordinatenwert ( $b$ ) durch eine verzerrte Abbildung eines Einheits-Quadrates in der  $p,q$ -Ebene auf sich selbst erfolgt, wobei der Farbkoordinatenwert ( $h$ ) unverändert bleibt.
18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Erzeugung des zweiten normierten Zwischen-Farbkörpers (3) durch Abbildung des ersten Zwischen-Farbkörpers (2) auf sich selbst lediglich eine der beiden Farbkoordinaten ( $p,q$ ) nach einer Verzerrungsfunktion geändert wird.
19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Verzerrungsfunktion eine Hyperbel ist.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß
- der normierte Zwischen-Farbkörper (2) ein Einheitszylinder mit dem Radius 1 und der Höhe 1 ist und
  - die Hintransformation des Ausgangs-Farbkörpers (1) in den Zwischen-Farbkörper (2) derart erfolgt, daß die Kurve (5) zwischen den Punkten mit den normierten Helligkeitswerten ( $L = 0, L = 100$ ) auf der Zylinderachse des Zwischen-Farbkörpers (2) liegt und daß die Punkte mit den normierten Helligkeitswerten ( $L = 0, L = 100$ ) jeweils auf die ganze obere bzw. untere Deckflächen des Zwischen-Farbkörpers (2) abgebildet werden.
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Transformationsvorschriften ( $F_1, F_2, F_3$ ) in Form von dreidimensionalen Tabellen gespeichert werden.
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Abbildung eines Farbkörpers durch Umsetzung von Farbwerten anhand der gespeicherten Tabellen durchgeführt wird.
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Transformationsvorschriften ( $F_1, F_2, F_3$ ) zu einer Gesamttransformationsvorschrift ( $F$ ) für die Überführung des Ausgangs-Farbkörpers (1) in den Ziel-Farbkörper (4) zusammengefaßt werden.
24. Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens, gekennzeichnet durch
- einen Speicher (14) zur Ablage von Farbkoordinaten ( $L,a,b$ )
  - eine erste Rechen-Stufe (15) zur Erzeugung des verzerrten Ausgangs-Farbkörpers ( $1''$ ) durch Umformung der Farbkoordinaten ( $L,a,b$ ) des Ausgangs-Farbkörpers (1) in die Farbkoordinaten ( $L'',a'',b''$ ) des verzerrten Ausgangs-Farbkörpers ( $1''$ ) nach der ersten Teilvorschift ( $F_{11}$ ),
  - eine erste Transformations-Stufe (16) zur Umwandlung der Farbkoordinaten ( $L'',a'',b''$ ) des verzerrten Ausgangs-Farbkörpers nach der zweiten Teilvorschift ( $F_{12}$ ) unter Beibehaltung der Farb-
- 40
- 50
- 55
- 60
- 65
- 18

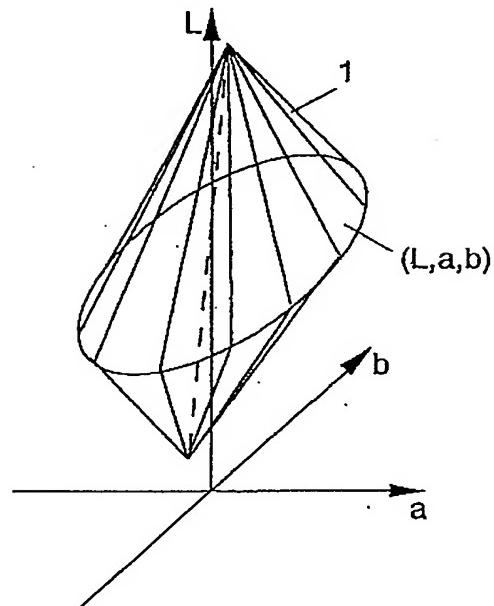
- koordinaten (L) in polare Farbkoordinaten (b,S)  
des zylindrischen Farbkoordinatensystems  
(b,S,L),  
– einen Koordinaten-Speicher (17) zur Zwi-  
schenablage der ermittelten Farbkoordinaten 5  
(b,S,L),  
– eine dreidimensionale Interpolations-Stufe (18)  
zur Ermittlung der Schnittkurven für diskrete  
Farbkoordinaten (b) aus den gespeicherten Farb-  
koordinaten (b,S,L),  
– einen Schnittkurven-Speicher (19) zur Zwi-  
schen Speicherung der Farbkoordinaten (b,S,L) der  
Schnittkurven,  
– eine zweite Rechen-Stufe (20) zur zweidimen-  
sionalen Umparametrierung der zwischengespei- 15  
cherten Farbkoordinaten (S,L) unter Beibehaltung  
der Farbkoordinaten (b) in die Farbkoordinaten  
(p,q) des zylindrischen Farbkoordinatensystems  
(b,S,L),  
– einen Tabellen-Speicher (21) zur Speicherung 20  
der Farbkoordinaten (b,S,L), der durch die zuge-  
ordneten Farbkoordinaten (h,p,q) adressierbar ist,  
als inverse dritte Teilvorschrift ( $F'_{13}$ ),  
– eine zweite Transformations-Stufe (22) zur  
Umwandlung der Farbkoordinaten (b,S) unter 25  
Beibehaltung der Farbkoordinaten (L) in die Farb-  
koordinaten (a",b") nach der inversen zweiten  
Teilvorschift ( $F_{12}$ ) und  
– eine dritte Rechen-Stufe (23) zur Umwandlung  
der Farbkoordinaten (L",a",b") in die Farbkoordi- 30  
naten (L,a,b).

---

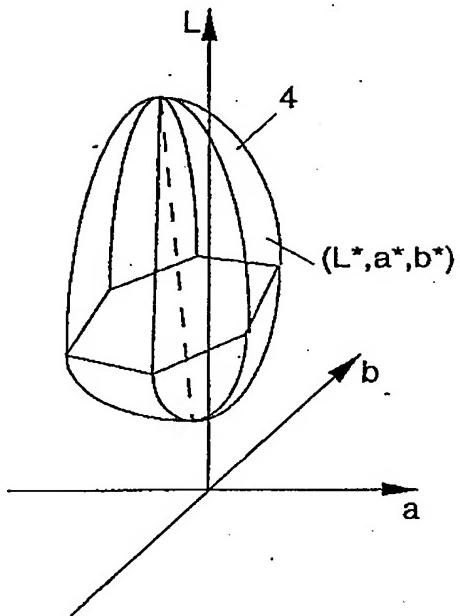
Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

**- Leerseite -**

Ausgangs-Farbkörper  
für  
Ausgangs-Prozess



Ziel-Farbkörper  
für  
Ziel-Prozess



$F_1$

$F_3$

Zwischen-Farbkörper

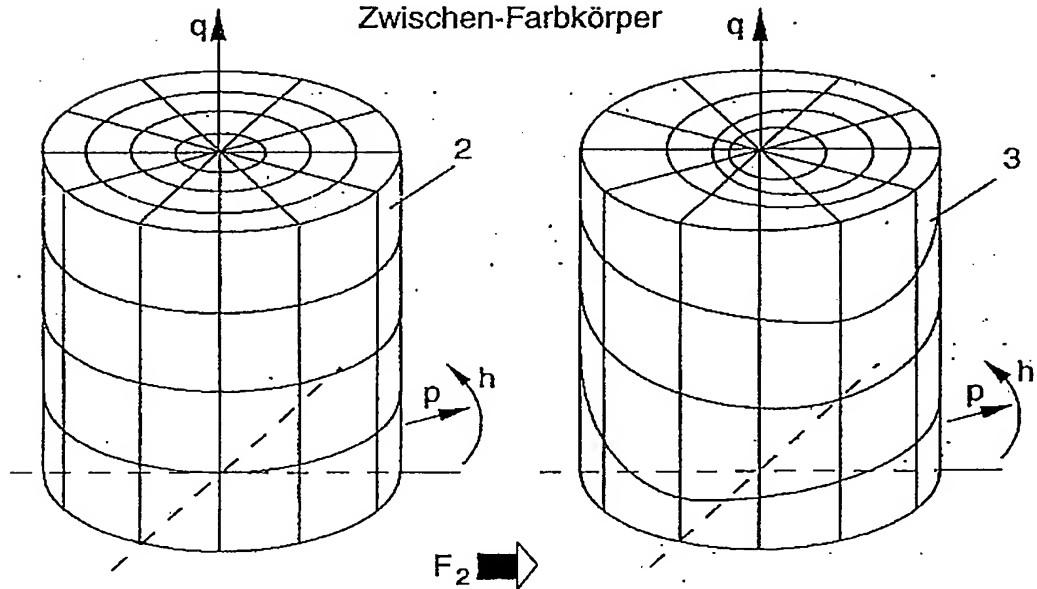


Fig.1

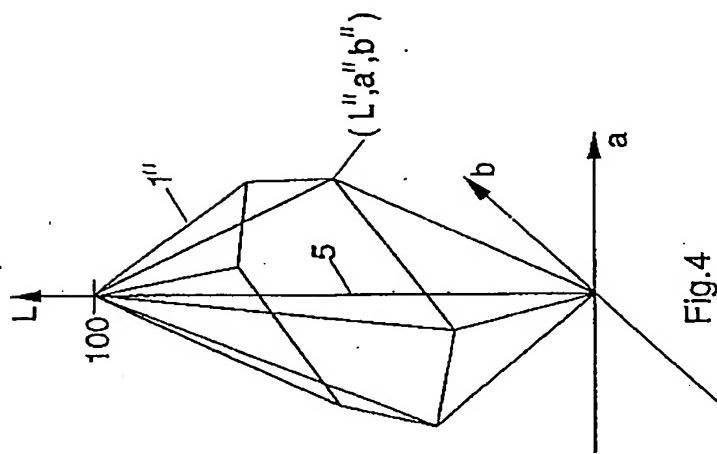


Fig.4

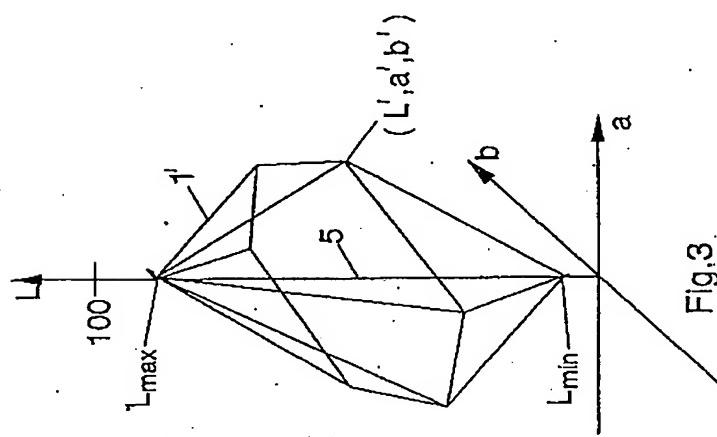


Fig.3

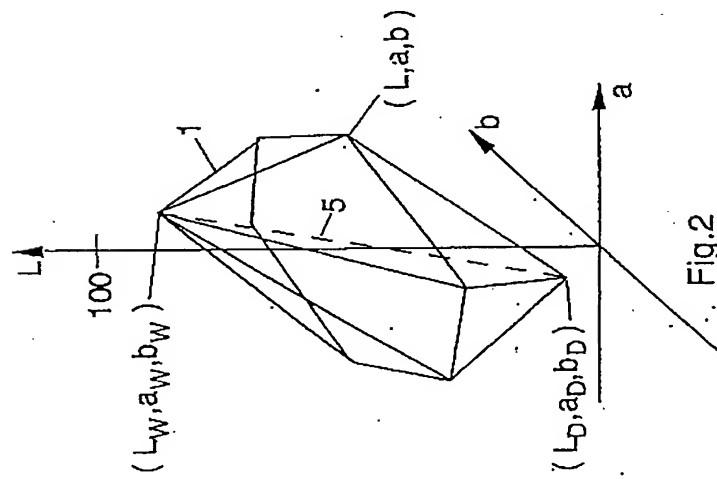


Fig.2

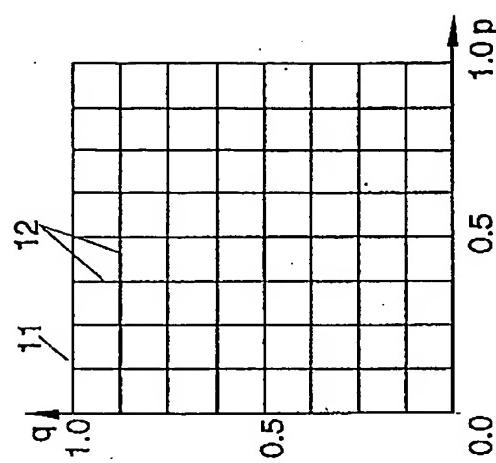


Fig. 7

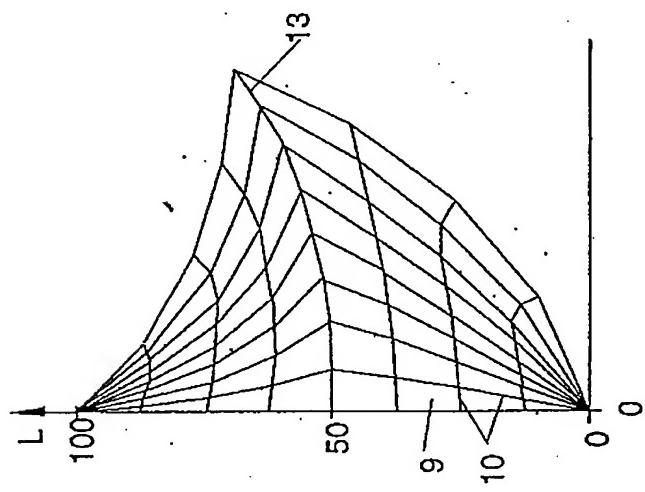


Fig. 6

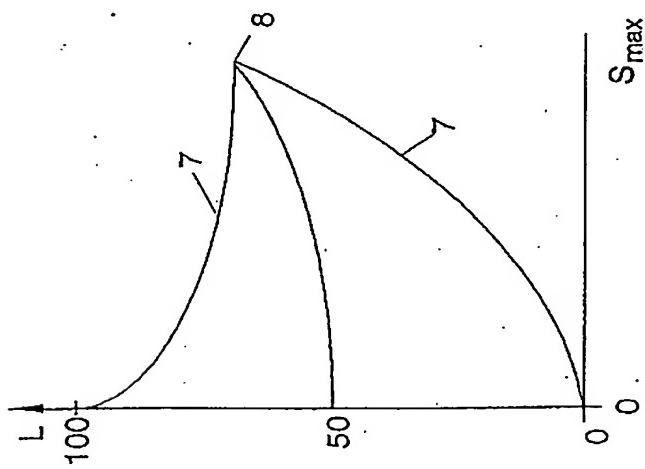
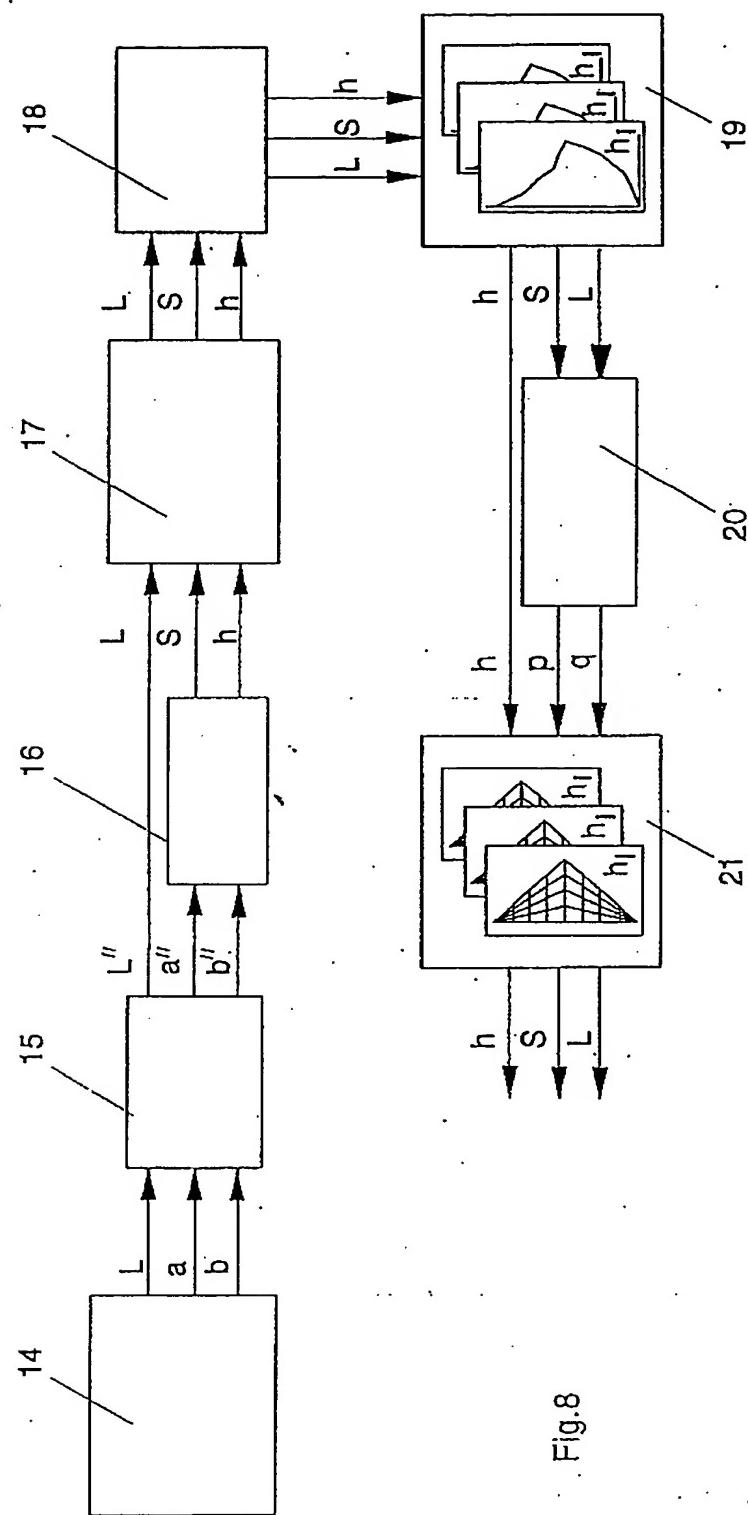


Fig. 5



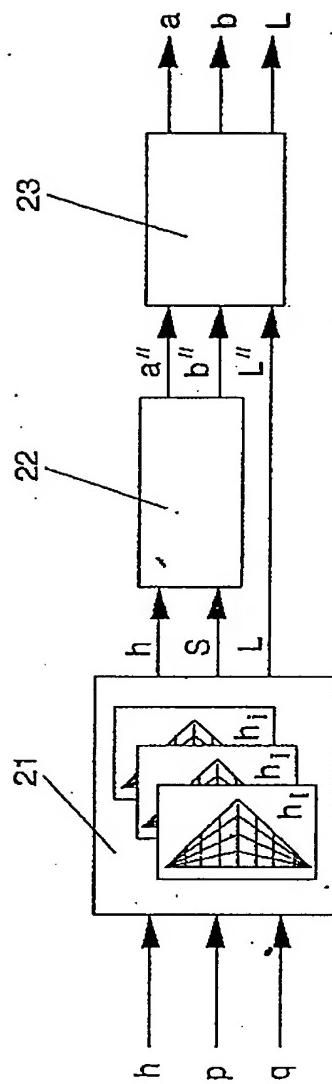


Fig. 9

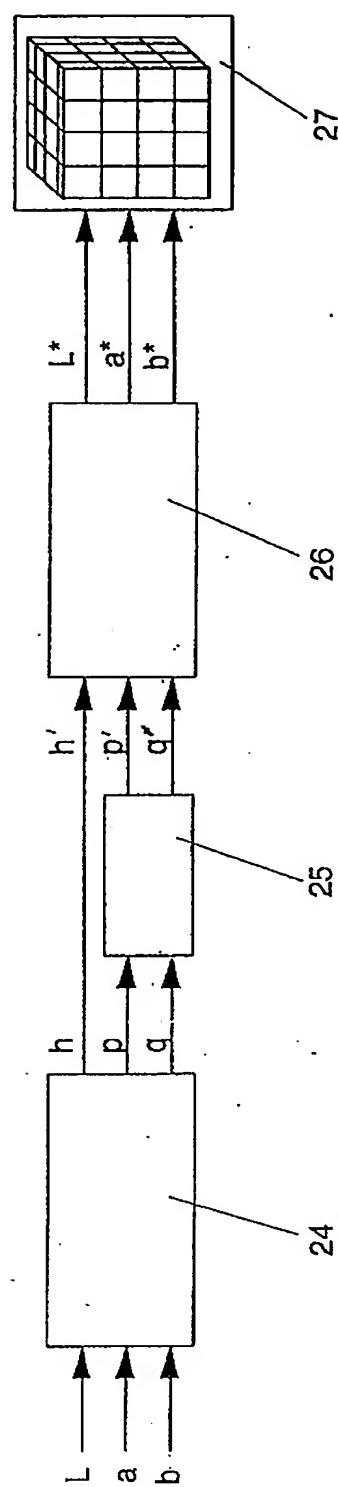


Fig.10